

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
25. Oktober 2001 (25.10.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/80381 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H01S 3/094,
3/131, 3/067, 5/0683, 5/50, H04B 10/17, G02F 1/09

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): RAPP, Lutz [DE/DE];
Jägerstrasse 16, 82041 Deisenhofen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/00094

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. Januar 2001 (11.01.2001)

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, US.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
100 18 357.3 13. April 2000 (13.04.2000) DE

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacher Platz 2, 80333 München (DE).

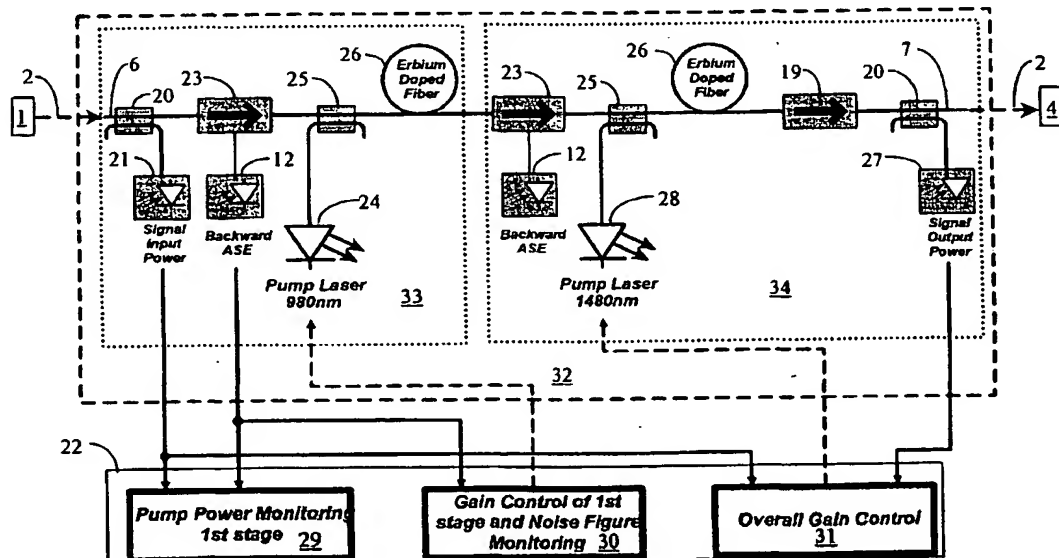
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR REGULATING A MEDIUM WITH AN AMPLIFYING EFFECT, ESPECIALLY A
FIBER OPTICAL WAVEGUIDE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR REGELUNG EINES VERSTÄRKEND WIRKENDEN MEDI-
UMS, INSBESONDERE EINER LICHTLEITFASER



(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for regulating the optical amplification of a medium with an amplifying effect, especially a doped fiber optical waveguide. The intensity of the amplified spontaneous emission is used as a regulating variable for the amplification power, especially the power of a pump laser.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Regelung der optischen Verstärkung eines verstärkend wirkenden Mediums, insbesondere einer dotierten Lichtleitfaser, wobei die Intensität der verstärkten Spontanemission als Regelgröße für die Verstärkungsleistung, insbesondere der Leistung eines Pumplasers, genutzt wird.





Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Regelung eines verstärkend wirkenden Mediums, insbesondere einer Lichtleitfaser

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Verstärkung eines verstärkend wirkenden Mediums in einem optischen Datenübertragungssystem, dem auf optischem oder elektrischem Wege Energie zugeführt wird und eine Verstärkung eines Lichtsignals bewirkt, das das Medium durchläuft. Außerdem betrifft die Erfindung Vorrichtungen zur Durchführung des oben genannten Verfahrens.

Digitale und auch analoge Daten werden zunehmend in Form optischer Datensignale in Glasfaserleitungen über weite Strecken übertragen. Hierzu ist es notwendig, die Lichtsignale, die im Laufe ihrer Übertragungsstrecke einen Intensitätsverlust erleiden, in regelmäßigen Abständen wieder zu verstärken. Eine solche Verstärkung kann beispielsweise durch elektronisches Auslesen der Signale, anschließende Neugeneration der optischen Signale und Einspeisen dieser Signale in eine weitere Übertragungsstrecke geschehen. Es besteht aber auch die Möglichkeit, die Verstärkung durch eine rein optische Verstärkung, zum Beispiel durch sogenannte optische Verstärker, zu erreichen, die auch ferngepumpt sein können.

Eine solche Datenübertragungsstrecke mit einem ferngepumpten optischen Leistungsverstärker ist aus der Patentanmeldung DE 196 22 012 A1 der Anmelderin bekannt. In dieser Anmeldung wird eine optische Datenübertragungsstrecke gezeigt, die aus Abschnitten mit passiven Übertragungsfasern und dazwischen geschalteten ferngepumpten verteilten optischen Verstärkern besteht, wobei diese optischen Verstärker auf der Basis von aktiven Fasern aufgebaut sind, die in bekannter Weise mit Ionen von Elementen aus der Gruppe der seltenen Erden dotiert sind und über eine Pumplichtquelle ihre Verstärkungsenergie beziehen.

Der Offenbarungsgehalt der oben zitierten Patentanmeldung und des darin zitierten IEEE-Photonics Technology Letters, VOL.7, NO 3, March 1995, pp.333-335, wird hiermit vollinhaltlich übernommen.

Ein Problem solcher optischer Verstärker liegt darin, daß sie den informationstragenden Lichtwellen ein Rauschspektrum überlagern. Die so generierten Rauschanteile erfahren in nachfolgenden Verstärkern ebenfalls eine Verstärkung. Um für alle Kanäle die gleiche Signalqualität zu erhalten, sollte am Ende der Übertragungsstrecke für alle Wellenlängenkanäle das selbe Signal-Geräuschleistungsverhältnis vorliegen. Ferner beschränken nichtlineare Effekte in Glasfasern die maximal zulässigen Kanalleistungen. Daher gibt es einen optimalen Betriebszustand der Übertragungsstrecke. Um die Strecke möglichst nahe bei ihrem optimalen Betriebszustand zu betreiben, ist es erforderlich, die optischen Verstärker möglichst genau zu regeln. Durch eine unregelmäßige Verstärkung der Lichtsignale kann es dazu kommen, daß die Übertragungsqualität negativ beeinflusst wird und die Fehlerrate der digitalen Signale steigt.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung für die Regelung der Verstärkung von optischen Datenübertragungssignalen zu finden, die eine im Vergleich zum Stand der Technik deutlich genauere Regelung des Verstärkergewinns erlauben.

Diese Aufgabe wird durch die unabhängigen Patentansprüche gelöst.

Der Erfinder hat erkannt, daß ein wesentliches Problem bei der optischen Leistungsverstärkung von Datenübertragungssignalen darin liegt, daß für die Regelung der Leistung der zur Verstärkung verwendeten Pumplaser weder die tatsächlich eingekoppelte Leistung des Pumplasers noch die tatsächliche Ver-

- stärkung oder der Gewinn - was noch besser wäre - gemessen wird, sondern lediglich die Leistung des Pumplasers. Dies geschieht in der Regel dadurch, daß ein Teil des Pumplaserlichtes vor der Einkopplung in die Faser abgespalten und über eine Fotodiode gemessen wird. Zwischen dem Meßsignal und der tatsächlich in die Faser eingekoppelten Pumpleistung besteht ein nichtlinearer Zusammenhang, der von weiteren Störgrößen, wie z. B. der Temperatur, abhängt. Auch durch Alterungseffekte kann dieser Zusammenhang verändert werden. Ferner hängt der bei einer gegebenen Pumpleistung erzielte Gewinn auch von der Leistung der Signale und ihrer Wellenlänge ab. Daher kann mit Hilfe des gewonnenen Meßsignals die in die dotierte Faser eingekoppelte Leistung nur ungenau bestimmt werden.
15. Eine Abhilfe kann geschaffen werden, indem bei der Leistungsregelung des Pumplasers nicht mehr die, eigentlich uninteressante, Leistung des Pumplaserlichtes selbst gemessen wird sondern die tatsächliche Verstärkungsleistung bestimmt wird und anhand der tatsächlichen Verstärkungsleistung der Pumplaser in seiner Leistung gesteuert wird. Hierdurch wird eine Beeinträchtigung der Regelung durch störende Einflüsse, wie z.B. Temperaturänderungen oder Alterung, vermieden.
- Bei sogenannten gepumpten optischen Leistungsverstärkern wird die physikalische Eigenschaft dotierter Lichtwellenleiter genutzt, daß Elektronen, angeregt durch das Licht des Pumplasers, auf höhere Energieniveaus gehoben werden, von wo aus sie, angeregt durch das zur Datenübertragung genutzte Licht, wieder in ihre ursprünglichen Energieniveaus zurückfallen, dabei ihre Energie abgeben und das datenübertragende Licht auf diese Weise verstärken. Allerdings besteht für die Elektronen, die auf höhere Energieniveaus angehoben wurden, auch die Möglichkeit, zufällig mit einer gewissen Zeitkonstante beziehungsweise einer gewissen Wahrscheinlichkeit in das ursprüngliche Niveau zurückzufallen und dabei ein Rauschsignal zu emittieren. Dieser Vorgang wird bekannterweise als verstärkte spontane Emission (= amplified spontaneous emission =

ASE) bezeichnet. Typischerweise gibt es für dieses stochastisch entstehende Signal auch keine bevorzugte Ausbreitungsrichtungen, so daß die ASE sowohl in Vorwärts- als auch in Rückwärtsrichtung der Datenübertragungsstrecke fortschreitet. Da durch den optischen Leistungsverstärker jegliches, ihn durchlaufendes Licht verstärkt wird, wird auch die verstärkte spontane Emission (ASE) entsprechend verstärkt und kann daher als Maß für die tatsächliche Verstärkung eines Lichtsignals dienen.

Erfindungsgemäß wird also die tatsächliche Verstärkungsleistung anhand der Intensität der verstärkten spontanen Emission (ASE) gemessen und der Pumplaser kann in seiner Leistung so eingeregelt werden, daß die Verstärkung der Datensignale einen geforderten Wert aufweist.

Zur Bestimmung der ASE kann beispielsweise die Tatsache genutzt werden, daß sich dieses auch entgegen der eigentlichen Datenübertragungsrichtung ausbreitet, oder es kann die Intensität der Verstärkung in einer Wellenlänge gemessen werden, die frei von zu übertragenden Daten ist, so daß also auch hier die reine ASE-Leistung bestimmt werden kann.

Ist andererseits bekannt, welche tatsächliche Verstärkungsleistung eine bestimmte Einstellung eines Pumplasers erreichen sollte, kann diese direkte Messung der Verstärkungsleistung über die ASE-Leistung auch dazu verwendet werden, um Rückschlüsse auf Alterungsprozesse oder sonstige auftretende Fehler in der Datenübertragungsstrecke zu gewinnen.

Es ist weiterhin zu erwähnen, daß das erfindungsgemäße Verfahren nicht nur bei Faserverstärkern sondern auch bei Wellenleiterstrukturen im Substrat und auch bei Halbleiterverstärkern einsetzbar ist, wobei letztere nicht über Licht sondern elektrisch gepumpt werden.

Entsprechend diesem grundsätzlichen Erfindungsgedanken schlägt der Erfinder ein Verfahren zur Regelung einer optischen Verstärkung eines verstärkend wirkenden Mediums in einem optischen Datenübertragungssystem, dem auf optischem oder elektrischem Wege Energie zugeführt wird und welches eine Verstärkung eines Lichtsignals bewirkt, das das Medium durchläuft, dahingehend zu verbessern, daß die Intensität einer verstärkten spontanen Emission in dem Medium detektiert wird und in Abhängigkeit dieser Intensität eine Prozedur, die im Zusammenhang mit der Verstärkungsleistung des Mediums oder der dieses enthaltenden Struktur steht, ausgelöst wird.

Wie oben erwähnt, kann es sich bei dem verstärkend wirkenden Medium beispielsweise um einen Lichtwellenleiter, eine Wellenleiterstruktur im Substrat oder um einen Halbleiterverstärker handeln, wobei der Lichtwellenleiter vorzugsweise eine Lichtleitfaser ist, und vorzugsweise das verstärkend wirkende Medium mit Elementen der Gruppe Seltener Erden, vorzugsweise mit Erbium, dotiert ist.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird vorgeschlagen, bei der Detektion der verstärkten spontanen Emission (= amplified spontaneous emission = ASE) vorwärts gerichtetes und/oder rückwärts gerichtetes Licht auszukoppeln, woraus die Verstärkung quantitativ bestimmt werden kann. Die Auskopplung des rückwärts gerichteten Lichtes kann beispielsweise mit Hilfe eines Zirkulators oder eines Isolators erfolgen.

Erfindungsgemäß kann auch bei der Detektion der verstärkten spontanen Emission (= amplified spontaneous emission = ASE) eine frequenzabhängige Teilung des vorwärts und/oder rückwärts gerichteten Lichtes in mindestens zwei Frequenzbänder und Messung der Intensität in mindestens einem Frequenzband, welches vorzugsweise frei von Datensignalen ist, vorgenommen werden. Dazu bietet es sich an, die oftmals bereits in optische Verstärker eingebauten ASE-Unterdrückungsfilter derart

zu modifizieren, daß die unterdrückte ASE mit Hilfe einer Fotodiode detektiert werden kann.

5 Bevorzugt kann die Energiezufuhr auf optischem Wege durch ein Pumplaserlicht mit einer Wellenlänge in der Nähe von 980nm und/oder 1480nm vorgenommen werden.

10 Die ausgelöste Prozedur gemäß dem Erfindungsgedanken kann ein Regelmechanismus für die zugeführte Energie, insbesondere für die Leistung eines pumpenden Laser sein, wobei das vorgeschlagene Verfahren vorzugsweise für die Regelung von 980nm-Laser verwendet wird.

15 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, wird zur Bestimmung der vorliegenden Verstärkung die Abhängigkeit von tatsächlicher Verstärkung eines Signals und Intensität der verstärkten spontanen Emission (ASE) zunächst, beispielsweise in einem Versuchsaufbau, gemessen und anschließend diese Abhängigkeit durch eine entsprechende mathematische Funktion oder eine Tabelle hinterlegt und bei der
20 Bestimmung der tatsächlich vorliegenden Verstärkung verwendet.

Wie bereits oben erwähnt, kann auch die ausgelöste Prozedur
25 ein Überwachungsmechanismus für die Funktionsfähigkeit einer Verstärkungseinrichtung oder einer Verstärkungsstrecke sein, wobei im Falle einer Veränderung der Verstärkungsleistung über und/oder unter einen Schwellwert in Abhängigkeit von der zugeführten Energie und der Signalleistung eine Alarmierung
30 ausgelöst wird.

Weiterhin kann erfindungsgemäß anhand der gemessenen Größen (Signalleistungen und/oder Signalwellenlängen und/oder Temperatur) die von einzelnen Pumplasern abgegebene Pumpleistung
35 bestimmt werden, um Veränderungen der Leistungsdaten der Pumplaser zu detektieren.

Ebenso kann anhand der gemessenen ASE-Leistung die Rauschzahl einer Verstärkungseinrichtung bestimmt werden, wobei zur Bestimmung der Rauschzahl deren Abhängigkeit von der verstärkten spontanen Emission (ASE) und gegebenenfalls weiterer
5 Einflußgrößen (zum Beispiel der Temperatur) durch eine oder mehrere Funktionen bzw. Tabellen hinterlegt wird.

Das oben genannte Verfahren kann erfindungsgemäß mit einem Computer oder Mikroprozessor durchgeführt werden, wobei ein
10 entsprechendes Computerprogramm mit Programm-Mitteln verwendet wird, um die Schritte, gemäß dem zuvor beschriebenen Verfahren, durchzuführen, wenn das Programm auf einem Computer oder Mikroprozessor ausgeführt wird.

15 Zur Detektion der verstärkten spontanen Emission in einer Datenübertragungs- und/oder Verstärkungsstrecke mit einem Eingang, einem Ausgang und dazwischen angeordneten Mitteln, die unter anderem dazu geeignet sind, rückwärts gerichtetes Licht auskoppeln, kann erfindungsgemäß ein optischer Isolator
20 (=optische Diode) dienen, welcher ein Mittel zur Detektion des rückwärts gerichteten Lichtes aufweist.

Dieser optischer Isolator kann erfindungsgemäß derart ausgestaltet sein, daß die zwischen Eingang und Ausgang angeordneten
25 Mittel eine Aufweitung des Lichtstrahls bewirken, wobei vom Eingang zum Ausgang laufendes Licht auf den Ausgang fokussiert wird, während vom Ausgang zum Eingang laufendes Licht nicht auf den Eingang fokussiert wird.

30 Des weiteren kann das zwischen Eingang und Ausgang angeordnete Mittel zwei GRIN-Linsen mit einer dazwischen liegenden Anordnung aus zwei Polarisierern und einem Faraday-Rotator enthalten. Unter dem Begriff Polarisierer wird im folgenden eine Komponente oder ein Material verstanden, in dem die Ausbrei-
35 tungseigenschaften des Lichts vom Polarisationszustand abhängen.

Das Mittel zur Detektion des rückwärts gerichteten Lichtes im erfindungsgemäßen optischen Isolator kann beispielsweise eine Photodiode sein.

- 5 Erfindungsgemäß wird auch vorgeschlagen, eine Anordnung zur Detektion einer verstärkten spontanen Emission (ASE) in einer optischen Datenübertragungs- und/oder Verstärkungsstrecke mit einem Eingang und einem Ausgang für Licht mit zu übertragenden optischen Datensignalen, dahingehend zu verbessern, daß
10 zwischen dem Eingang und Ausgang mindestens ein Frequenzteiler und ein Detektor vorgesehen sind, wobei mindestens ein Frequenzbereich ohne Datensignale auskoppelt und einem Detektor zuführt wird.
- 15 Entsprechend dem oben beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren schlägt der Erfinder auch eine optische Datenübertragungsstrecke vor, welche die Mittel zur Durchführung dieses beschriebenen Verfahrens enthält.
- 20 Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen und der nachfolgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Zeichnungen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnungen näher
25 beschrieben:

- Figur 1: Datenübertragungsstrecke;
Figur 2: Intensitätsverlauf des Lichtes über die Datenübertragungsstrecke;
30 Figur 3: Optischer Isolator mit Darstellung der Lichtausbreitung in Signalrichtung;
Figur 4: Optischer Isolator mit Darstellung der Lichtausbreitung entgegen der Signalrichtung;
Figur 4a: Optischer Zirkulator;
35 Figur 5: Auskopplung des nicht signalbehafteten Lichtspektrums in der Datenübertragungsstrecke;

Figur 6: Darstellung des Funktionszusammenhangs von ASE-Intensität zur tatsächlich an das Signal übertragenen Verstärkungsleistung;

5 Figur 7: Schematische Darstellung einer Datenübertragungsstrecke mit einem mehrstufigen Verstärker mit einer Regelung der Pumplaserleistung über die Messung der rückwärts gerichteten ASE-Intensität.

10 Die Figur 1 zeigt eine erfindungsgemäße optische Datenübertragungsstrecke von einem Sender 1 zu einem Empfänger 4 mit den Teilabschnitten 2.1 bis 2.5 und dazwischen geschalteten Leistungsverstärkern 3.1 bis 3.4.

15 Entsprechend ist in der darunterstehenden Figur 2 in einem Diagramm der Intensitätsverlauf des optischen Signals gegenüber den darunter angedeuteten Teilstrecken S1 bis S5 mit zwischenliegenden Verstärkungsstrecken V1 bis V4 dargestellt. Es ist aus der Figur zu erkennen, wie in den einzelnen Teilstrecken die Intensität des Datensignals monoton fällt und
20 über die Verstärkungsstrecke wieder verstärkt wird, um anschließend im darauffolgenden Teilabschnitt der Übertragungsstrecke wieder zu fallen, bis das Signal schließlich vom Empfänger zum Sender gelangt ist.

25 Erfindungsgemäß kann es sich bei den Verstärkungsstrecken V1 bis V4 und den Leistungsverstärkern 3.1 bis 3.4 beispielsweise um eine mit Erbium dotierte Lichtleitfaser handeln, die mit Hilfe eines Pumplasers mit Energie versorgt wird. Eingangsseitig ist den Leistungsverstärkern 3.1 bis 3.4 jeweils
30 ein erfindungsgemäßer Detektor, zur Messung der sich rückwärts ausbreiteten verstärkten spontanen Emission 5.1 bis 5.4, vorgeschaltet. Hierbei kann es sich beispielsweise um einen an sich bekannten optischen Isolator handeln, bei dem zusätzlich ein Detektor zur Messung des rückwärts gerichteten
35 Lichtes angebracht ist.

Ein solcher erfindungsgemäßer optischer Isolator ist in den Figuren 3 und 4 dargestellt, wobei die Figur 3 mit den Pfeilen die Vorwärtsrichtung des Lichtes und die Figur 4 mit den Pfeilen die Rückwärtsrichtung des durchtretenden Lichtes beschreibt.

Die optischen Isolatoren bestehen aus einem Eingang 6, in den das Licht eintritt und einem Ausgang 7, aus dem das Licht wieder in die Datenübertragungsstrecke eintritt. Eingangsseitig und ausgangsseitig befindet sich jeweils eine GRIN-Linse (GRIN = gradient-index). Zwischen den beiden GRIN-Linsen befindet sich ein Faraday-Rotator 9, der von zwei Magneten 11.1 und 11.2 und einer normalerweise nicht optisch aktiven Substanz gebildet wird und von einem eingangsseitigen und einem ausgangsseitigen Polarisierer 10.1 und 10.2 umschlossen wird.

Die Pfeile in der Figur 3 zeigen, wie das eintretende Licht eingangsseitig auf den ersten Polarisierer 10.1 ausgerichtet wird. Im Faraday-Rotator 9 findet eine Drehung der Polarisierung um 45° um die beiden Polarisationsachsen statt. Anschließend wird das Licht in der ausgangsseitigen GRIN-Linse wieder rekombiniert und dem Ausgang 7 zugeleitet.

Wie die Figur 4 zeigt, wird entgegen der Datenübertragungsrichtung eintretendes Licht, welches vom Ausgang 7 in den optischen Isolator eintritt, ebenfalls zunächst auf den zweiten Polarisierer geleitet, durch die beiden Polarisierer und den dazwischen liegenden Faraday-Rotator geführt, wobei jedoch in der eingangsseitigen GRIN-Linse dieses rückwärts gerichtete Licht nicht mehr auf die eingangsseitige Faser kolliminiert wird, sondern sich weiter divergent ausbreitet und auf diese Weise auf den eingangsseitig angeordneten Detektor, der die eingehende Faser hier umschließt, trifft und dort die Möglichkeit der Messung des rückwärts gerichteten Lichtes und damit der verstärkten Spontanemission (ASE) eröffnet.

Neben der dargestellten Situation eines direkt angebrachten Detektors kann natürlich auch eine Weiterleitung des rückwärts gerichteten Lichtes über eine Lichtleitfaser zu einem entfernt angeordneten Detektor vorgenommen werden.

5

Anstelle eines Isolators kann auch ein Zirkulator 35 verwendet werden, wie er in Figur 4a gezeigt ist. Licht, das am Tor A eingekoppelt wird, verläßt den Zirkulator 35 am Tor B, während am Tor B eingekoppeltes Licht den Zirkulator 35 am Tor C verläßt. Im vorliegenden Anwendungsfall durchlaufen also die Signale den Zirkulator 35 in Richtung der Datenübertragung von Tor A nach Tor B, während an Tor C die rückwärts gerichtete ASE, beispielsweise durch eine Photodiode, detektiert werden kann.

15

Ein Zirkulator bietet für die Pfade von Tor A nach Tor B und von Tor B nach Tor C dieselbe Einfügedämpfung, wodurch sein Aufbau im Vergleich zu einem Isolator komplexer ist. Dadurch fällt die Einfügedämpfung höher aus als bei einem Isolator, was sich negativ auf die Rauschzahl auswirkt. Daher ist einem Isolator der Vorzug zu geben.

Eine weitere Anordnung zur Messung der ASE ist in der Figur 5 dargestellt. Hier wird in der optischen Datenübertragungsstrecke ein Filter 15 zwischengeschaltet, in das das gesamte Spektrum 16 des optischen Signals einläuft und selektiv in zwei Spektralbereiche 16.1 und 16.2 aufgespalten wird. Der erste, ausgekoppelte Spektralbereich 16.1 ist frei von digitalen Signalen und enthält somit lediglich zumindest einen Teil des Rauschens des gesamten Signals. Dieser Anteil des Spektrums 16.1 wird anschließend über einen Detektor 12 (hier eine Fotodiode) bezüglich seiner Intensität vermessen. Das nicht ausgekoppelte Teilspektrum 16.2 des Datenübertragungssignals wird weiter auf der Datenübertragungsleitung gehalten und in Richtung Empfänger geführt.

Da der Spektralanteil 16.1 des Datensignals frei von Frequenzen ist, über die die eigentlichen digitalen Signals übertragen werden, bildet die Intensität dieses Anteils ein Maß für die verstärkte spontane Emission (ASE) in der Datenübertragungsstrecke.

Insgesamt ist somit in den Figuren 3 und 4 eine Vorrichtung dargestellt, mit der die rückwärts gerichtete ASE-Intensität in der Datenübertragungsstrecke gemessen werden kann, während die Vorrichtung gemäß der Figur 5 eine Möglichkeit eröffnet, die ASE in der Datenübertragungsstrecke zu messen, die sich in Übertragungsrichtung des Datensignals ausbreitet.

Zum Nachweis, daß tatsächlich aufgrund der Messung der ASE-Intensität ein Rückschluß auf die tatsächliche Verstärkung eines verstärkend wirkenden Mediums, insbesondere einer sortierten Lichtleitfaser oder eines optischen Substrates möglich ist, zeigt die Figur 6 in einem Diagramm den empirisch gemessenen Zusammenhang zwischen der Intensität der gemessenen ASE (X-Achse) und der Verstärkung eines durchlaufenden Signals (Y-Achse). Die Linie 17 stellt die Intensität der rückwärts gerichteten ASE als Funktion der tatsächlich vorliegenden Verstärkung in einer mit Erbium dotierten Lichtleitfaser dar, während die darunter liegende Linie 18 die gemessene ASE-Intensität in Vorwärtsrichtung als Funktion der tatsächlichen Verstärkung, also des tatsächlichen Gewinns der Datensignale, in einer mit Erbium dotierten Lichtleitfaser (EDFA) aufzeigt.

Die Linie 17 zeigt einen nahezu linearen Verlauf über einen Intensitätsbereich von immerhin fast 35 dB, während die Linie 18 einen leicht quadratischen Funktionszusammenhang zeigt. Beide Linien sind streng monoton steigend, so daß durch die Messung des Wertes der ASE-Intensität ein eindeutiger Rückschluß auf die tatsächlich vorliegende Verstärkung möglich ist. Der Zusammenhang zwischen der gemessenen ASE-Intensität und der vorliegenden Verstärkung kann mit Hilfe

von Funktionen oder tabellarisch hinterlegt werden, so daß durch die gemessene ASE-Intensität des datenübertragenden Lichtes ein direkter Rückschluß auf die Effektivität der vorliegenden Verstärkung möglich ist.

5

Es kann also aufgrund dieses Zusammenhanges eine Regelung des Pumplasers beziehungsweise einer elektrischen Energiezufuhr an ein verstärkend wirkendes Medium durchgeführt werden, um zu vermeiden, daß eine zu geringe Verstärkungsleistung eingesetzt wird, wodurch ein Anheben der Rauschzahl bewirkt werden würde, oder aber daß eine zu große Verstärkungsleistung bewirkt wird, wodurch nichtlineare Effekte in der Faser zu starken Signalverzerrungen führen.

10

15 Die Figur 7 zeigt schließlich schematisch eine optische Datenübertragungsstrecke 2 mit dem internen Aufbau eines mehrstufigen optischen Verstärkers 32 mit einer ersten Verstärkerstufe 33 (980nm) und einer zweiten Verstärkerstufe 34 (1480nm). Dieses Beispiel zeigt die Kombination des vorgeschlagenen Regelverfahrens in der ersten Verstärkerstufe 32
20 mit dem bereits bekannten Regelverfahren in der zweiten Verstärkerstufe 34. In der ersten Stufe 32 des Verstärkers wird ein kleiner Teil des einkommenden Signales aus der Datenübertragungsstrecke 2 mit einem Koppler 20 ausgekoppelt und zu
25 einem Signalleistungsdetektor 21 geführt, um die Stärke des einkommenden Signals zu messen. Der Rest des übertragenen Lichtes wird zu einem erfindungsgemäßen optischen Isolator 23 geführt, dessen Aufbau beispielhaft in den Figuren 3 und 4 dargestellt ist. Hier wird über den Detektor 12 die in dieser
30 Stufe generierte rückwärts gerichtete ASE-Leistung gemessen, anschließend folgt ein weiterer Koppler 25 zum Einkoppeln des Lichtes aus einem Pumplaser mit 980nm Wellenlänge. Der Pumplaser 24 wird über den Computer 22 geregelt, wobei als Regelgröße die gemessene rückwärts gerichtete ASE-Leistung verwendet wird und entsprechend einer hinterlegten Funktion oder
35 einer hinterlegten Tabelle in Abhängigkeit von der ASE-Leistung die Intensität des Pumplasers 24 so eingestellt

wird, daß sich eine optimale Verstärkung der Datensignale in der ersten mit Erbium dotierten Faser (EDF) 26 einstellt.

Anschließend an die EDF 26 folgt wieder ein optischer Isolator 23 mit Detektor 12, zur Messung der rückwärts gerichteten ASE. Schließlich wird das Datensignal über einen Koppler 25 geleitet, über den ein Pumplaser mit 1480nm die nachfolgende mit Erbium dotierte Faser 26 speist. Anschließend folgt ein im Stand der Technik bekannter Isolator 19 mit einem nachgeschalteten Entkoppler 20, über den ein Teilsignal ausgekoppelt wird und im Signalausgangsleistungsdetektor 27 die Intensität des Signals am Ende der Datenübertragungsstrecke gemessen wird. Die Information über diese Intensität wird ebenfalls dem Computer zugeführt, so daß hierüber der Pumplaser 28 gesteuert werden kann. Alternativ besteht jedoch auch die Möglichkeit, die direkt vor dem letzten Einkoppler 25 gemessene rückwärts gerichtete ASE-Leistung zu detektieren und diese Information zur Steuerung des Pumplasers 28 zu nutzen.

Der Prozessor 22 ist funktionell in drei Aufgabenbereiche untergliedert. Der Funktionsblock 30 hat die Aufgabe, die Pumpleistung des Pumplasers 24 zu regeln. Dazu wird die gemessene rückwärts gerichtete ASE ausgewertet. Diese Meßgröße ermöglicht es außerdem, die Rauschzahl der ersten Stufe zu bestimmen. Da die Rauschzahl der Gesamtanordnung maßgeblich von der ersten Stufe bestimmt wird, ist auch diejenige der Gesamtanordnung bekannt.

Der Funktionsblock 29 dient dazu, die Leistungsdaten des Pumplasers 24 zu überwachen. Aufgrund von Messungen, die zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme durchgeführt wurden, ist bekannt, wie groß die Pumpleistung oder der in die Laserdiode injizierte Strom sein müssen, um bei der gemessenen Eingangsleistung den aus der gemessenen rückwärts gerichteten ASE-Leistung bestimmten Gewinn zu erzielen. Zur Verbesserung der Messung kann die Eingangsleistung spektral aufgelöst gemessen werden oder die Verteilung der Eingangsleistung aus den ge-

messenen Leistungen an den Sendern abgeleitet werden. Weichen die tatsächlich eingekoppelte Pumpleistung bzw. der tatsächlich der Laserdiode zugeführte Injektionsstrom von diesem Wert ab, haben sich die Leistungsdaten des Pumplasers 24 verändert. Auf diese Art und Weise können zum Beispiel Alterungseffekte detektiert werden.

Auf die gleiche Art und Weise kann auch die zweite Verstärkerstufe geregelt werden. Im folgenden soll jedoch beschrieben werden, wie das vorgeschlagene Regelkonzept sinnvoll mit einer weiteren Regelungsmethode kombiniert wird. Ziel der Verstärkerregelung ist es, einen vorgegebenen Gewinn bei möglichst geringer Rauschzahl einzustellen. Durch die bereits beschriebene Regelung der Pumpleistung des Pumplasers 24 wird der optimale Gewinn der ersten Verstärkerstufe eingestellt und die Rauschzahl der Gesamtanordnung bestimmt. Mit Hilfe des Funktionsblocks 31 wird nun die Pumpleistung des Pumplasers 28 so eingestellt, daß sich der gewünschte Gewinn der Gesamtanordnung vom Eingang 6 bis zum Ausgang 7 ergibt.

Ergänzend wird darauf hingewiesen, daß unter dem Begriff Laser sämtliche Lichtquellen zusammengefaßt sind, die geeignet sind, Pumplicht zur Verfügung zu stellen, insbesondere gehören dazu auch Laserdioden und Halbleiterlaser. Weiterhin ist zu bemerken, daß das erfindungsgemäße Verfahren in einer Datenübertragungsstrecke sowohl einstufig als auch mehrstufig verwendet werden kann.

Es versteht sich, daß die vorstehend genannten Merkmale der Erfindung nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

Zusammenfassend werden also durch die Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Regelung der optischen Verstärkung eines verstärkend wirkenden Mediums, insbesondere einer dotierten Lichtleitfaser, zur Verfügung gestellt, wobei die In-

tensität der verstärkten Spontanemission als Regelgröße für die Verstärkungsleistung, insbesondere der Leistung eines Pumplasers, genutzt und eine Verstärkung von digitalen Signalen im Sättigungsbereich vermieden wird. Hierdurch wird insbesondere erreicht, daß trotz mehrfach hintereinander geschalteter Verstärkung eines Datenübertragungssignals das maximale Signal-Geräuschleistungsverhältnis erzielt oder nur geringfügig unterschritten und ein Verrauschen der übertragenen Daten verhindert wird.

10

Die in den Figuren stehenden englischen Kurzbezeichnungen bedeuten im einzelnen:

	Power	=	Leistung
	Power Detector	=	Leistungsdetektor
15	Wavelength	=	Wellenlänge
	Signals	=	Signale
	Erbium Doped Fiber	=	erbiumdotierte Faser
	Signal Input Power	=	Signaleingangsstärke
	Signal Output Power	=	Signalausgangsstärke
20	Backward ASE	=	rückwärts gerichtete ASE
	Pump Laser	=	Pumplaser
	Pump Power Monitoring		
	1 st stage	=	Pumpleistungsüberwachung der 1. Stufe
25	Gain Control of 1 st stage and Noise Figure Monitoring	=	Verstärkungskontrolle der 1. Stufe und Rauschzahlkontrolle
	Overall Gain Control	=	Gesamtverstärkungskontrolle
30	backward propagating	=	rückwärts sich ausbreitend
	forward propagating	=	vorwärts sich ausbreitend

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer optischen Verstärkung eines verstärkend wirkenden Mediums (26) in einem optischen Datenübertragungssystem, dem auf optischem oder elektrischem Wege Energie zugeführt wird und welches eine Verstärkung eines Lichtsignals bewirkt, das das Medium durchläuft, dadurch gekennzeichnet, daß die Intensität einer verstärkten spontanen Emission (= amplified sponaneous emission = ASE) des Lichtes in dem Medium (26) detektiert wird und in Abhängigkeit dieser Intensität eine Prozedur, die im Zusammenhang mit der Verstärkungsleistung des Mediums (26) oder der dieses enthaltenden Struktur steht, ausgelöst wird.
2. Verfahren gemäß dem voranstehenden Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als verstärkend wirkendes Medium ein Lichtwellenleiter (26) oder ein Halbleiterverstärker verwendet wird.
3. Verfahren gemäß dem voranstehenden Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei dem Lichtwellenleiter um eine Lichtleitfaser (26) oder eine Wellenleiterstruktur auf einem Substrat handelt.
4. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das verstärkend wirkende Medium (26) mit Seltenen Erden, vorzugsweise mit Erbium, dotiert ist.
5. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Detektion der verstärkten spontanen Emission (= amplified sponaneous emission = ASE) vorwärts gerichtetes und/oder rückwärts gerichtetes Licht ausgekoppelt wird.

6. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das rückwärts gerichtete Licht mit Hilfe eines Zirkulators (35) oder eines Isolators (23) ausgekoppelt wird.
- 5
7. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Detektion der verstärkten spontanen Emission (= amplified spontaneous emission = ASE) eine frequenzabhängige Teilung des
- 10
- vorwärts und/oder rückwärts gerichteten Lichtes in mindestens zwei Frequenzbänder (14.1, 14.2) und Messung der Intensität in mindestens einem Frequenzband (14.1), welches vorzugsweise frei von Datensignalen ist, vorgenommen wird.
- 15
8. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß zur Energiezufuhr pumpendes Laserlicht bei einer Wellenlänge in der Nähe von 980nm und/oder 1480nm verwendet wird.
- 20
9. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die ausgelöste Prozedur ein Regelmechanismus für die zugeführte Energie ist.
- 25
10. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die ausgelöste Prozedur ein Regelmechanismus für die Leistung eines pumpenden Lasers, vorzugsweise eines 980nm-Lasers (24),
- 30
- ist.
11. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der vorliegenden Verstärkung die Abhängigkeit von tatsächlicher Verstärkung und Intensität der ASE durch eine
- 35
- Funktion oder eine Tabelle hinterlegt und verwendet wird.

12. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die ausgelöste Prozedur ein Überwachungsmechanismus für die Funktionsfähigkeit einer Verstärkungseinrichtung oder einer Verstärkungsstrecke ist.
13. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß im Falle einer Veränderung der Verstärkungsleistung über und/oder unter einen Schwellwert in Abhängigkeit von der zugeführten Energie und der Signalleistung eine Alarmierung ausgelöst wird.
14. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß anhand der gemessenen Größen die von einzelnen Pumplasern abgegebene Pumpleistung bestimmt wird, um Veränderungen der Leistungsdaten der Pumplaser zu detektieren.
15. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die gemessenen Größen zur Bestimmung der Rauschzahl eines Verstärkers (32) verwendet werden.
16. Verfahren gemäß dem voranstehendem Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der Rauschzahl deren Abhängigkeit von der ASE und weiterer Einflußgrößen wie der Signalleistung durch eine oder mehrere Funktionen und/oder Tabellen hinterlegt wird.
17. Computerprogramm mit Programmcode-Mitteln, um alle Schritte gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 16 durchzuführen, wenn das Programm auf einem Computer (22) oder Mikroprozessor ausgeführt wird.

18. Computerprogramm mit Programmcode-Mitteln gemäß dem voranstehenden Anspruch 17, das auf einem computerlesbaren Datenträger gespeichert ist.
- 5 19. Übertragung eines Computerprogrammes gemäß dem voranstehenden Anspruch 17 auf zumindest teilweise elektronischem Wege zwischen einem Sender (1) und einem Empfänger (4).
- 10 20. Verwendung eines Computerprogrammes gemäß dem voranstehenden Anspruch 17.
- 15 21. Optischer Isolator (=optische Diode) zur Detektion einer ASE in einer Datenübertragungs- und/oder Verstärkungsstrecke mit einem Eingang (6), einem Ausgang (7) und dazwischen angeordneten Mitteln (8.1, 8.2), die unter anderem dazu geeignet sind, rückwärts gerichtetes Licht auskoppeln, dadurch gekennzeichnet, daß ein Mittel zur Detektion des rückwärts gerichteten Lichtes vorgesehen ist.
- 20 22. Optischer Isolator gemäß dem voranstehenden Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die zwischen Eingang (6) und Ausgang (7) angeordneten Mittel (8.1, 8.2) eine Aufweitung des Lichtstrahls bewirken, wobei vom Eingang (6) zum Ausgang (7) laufendes Licht auf den Ausgang (7) fokussiert wird, während vom Ausgang (7) zum Eingang (6) laufendes Licht nicht auf den Eingang (6) fokussiert wird.
- 25 23. Optischer Isolator gemäß dem voranstehenden Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die zwischen Eingang (6) und Ausgang (7) angeordneten Mittel zwei GRIN-Linsen (8.1, 8.2) mit einer dazwischen liegenden Anordnung aus zwei Polarisierern (10.1, 10.2) und einem Faraday-Rotator (9) enthalten.
- 30 35

24. Optischer Isolator gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Mittel (12) zur Detektion des rückwärts gerichteten Lichtes eine Photodiode ist.

5

25. Anordnung zur Detektion einer ASE in einer optischen Datenübertragungs- und/oder Verstärkungsstrecke mit einem Eingang (6) und einem Ausgang (7) für Licht mit zu übertragenden optischen Datensignalen, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Eingang (6) und Ausgang (7) mindestens ein Frequenzteiler (15) und ein Detektor (12) vorgesehen sind, wobei mindestens ein Frequenzbereich ohne Datensignale auskoppelt und dem Detektor (12) zugeführt wird.

10

15

26. Optisches Datenübertragungssystem zwischen einem Empfänger (4) und einem Sender (1) mit einem Mittel zur Regelung einer optischen Verstärkung eines verstärkend wirkenden Mediums (26), wobei dem verstärkend wirkenden Medium (26) auf optischem oder elektrischem Wege Energie zugeführt wird und dieses eine Verstärkung eines Lichtsignals bewirkt, welches das Medium durchläuft, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel zur Messung der Intensität einer verstärkten spontanen Emission (= amplified sponaneous emission = ASE) des Lichtes in dem Medium (26) vorgesehen sind, und Mittel vorgesehen sind, die in Abhängigkeit der Intensität der ASE eine Prozedur, die im Zusammenhang mit der Verstärkungsleistung des Mediums (26) oder der dieses enthaltenden Struktur steht, auslösen.

20

25

30

27. Optisches Datenübertragungssystem gemäß dem voranstehenden Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß das verstärkend wirkende Medium ein Lichtwellenleiter (26) oder ein Halbleiterverstärker ist.

35

28. Optisches Datenübertragungssystem gemäß dem voranstehenden Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei dem Lichtwellenleiter um eine Lichtleitfaser (26) oder eine Wellenleiterstruktur auf einem Substrat handelt.
29. Optisches Datenübertragungssystem gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 26 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß das verstärkend wirkende Medium (26) mit mindestens einem Element der Seltenen Erden, vorzugsweise mit Erbium, dotiert ist.
30. Optisches Datenübertragungssystem gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 26 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Detektion der verstärkten spontanen Emission (= amplified spontaneous emission = ASE) vorwärts gerichtetes und/oder rückwärts gerichtetes Licht durch einen Koppler ausgekoppelt wird.
31. Optisches Datenübertragungssystem gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 26 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß zur Auskopplung des rückwärts gerichteten Lichtes ein Zirkulator oder ein Isolator, vorzugsweise gemäß einem der Ansprüche 21 bis 24, vorgesehen ist.
32. Optisches Datenübertragungssystem gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 26 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Detektion der verstärkten spontanen Emission (= amplified spontaneous emission = ASE) ein frequenzabhängiger Teiler, vorzugsweise gemäß Anspruch 25, für das vorwärts und/oder rückwärts gerichtete Licht in mindestens zwei Frequenzbänder (14.1, 14.2) und ein Mittel zur Messung der Intensität in mindestens einem Frequenzband (14.1), welches vorzugsweise frei von Datensignalen ist, vorgesehen sind.

33. Optisches Datenübertragungssystem gemäß einem der voran-
stehenden Ansprüche 26 bis 32, dadurch gekenn-
zeichnet, daß zur Energiezufuhr Pump laser mit einer
Wellenlänge in der Nähe von 980nm und/oder 1480nm vorge-
sehen ist/sind.
34. Optisches Datenübertragungssystem gemäß einem der voran-
stehenden Ansprüche 26 bis 33, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die ausgelöste Prozedur ein Regelmecha-
nismus für die zugeführte Energie ist.
35. Optisches Datenübertragungssystem gemäß einem der voran-
stehenden Ansprüche 26 bis 34, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die ausgelöste Prozedur ein Regelmecha-
nismus für die Leistung eines pumpenden Laser, vorzugs-
weise eines 980nm-Lasers (24), ist.
36. Optisches Datenübertragungssystem gemäß einem der voran-
stehenden Ansprüche 26 bis 35, dadurch gekenn-
zeichnet, daß zur Bestimmung der vorliegenden Ver-
stärkung die Abhängigkeit von tatsächlicher Verstärkung
und Intensität der ASE durch eine Funktion oder eine Ta-
belle in einem elektronischen Speicher hinterlegt und
mit Hilfe eines Mikroprozessors (22) ausgewertet wird.
37. Optisches Datenübertragungssystem gemäß einem der voran-
stehenden Ansprüche 26 bis 36, dadurch gekenn-
zeichnet, daß als ausgelöste Prozedur ein Überwa-
chungsmechanismus, vorzugsweise in einem Mikroprozessor
(22), für die Funktionsfähigkeit einer Verstärkungsein-
richtung oder einer Verstärkungsstrecke vorgesehen ist.
38. Optisches Datenübertragungssystem gemäß einem der voran-
stehenden Ansprüche 26 bis 37, dadurch gekenn-
zeichnet, daß ein Mittel, vorzugsweise ein Mikropro-
zessor (22) mit einem entsprechenden Programm, vorgese-
hen ist, das im Falle einer Veränderung der Verstär-

kungsleistung über und/oder unter einen Schwellwert in Abhängigkeit von der zugeführten Energie und der Signalleistung eine Alarmierung auslöst.

- 5 39. Optisches Datenübertragungssystem gemäß einem der voran-
stehenden Ansprüche 26 bis 38, dadurch gekenn-
zeichnet, daß ein Mittel, vorzugsweise ein Mikropro-
zessor (22) mit einem entsprechenden Programm, vorgese-
hen ist, der anhand der gemessenen Größen die von ein-
10 zelnem Pumplaser abgegebenen Pumpleistung bestimmt, um
Veränderungen der Leistungsdaten der Pumplaser zu detek-
tieren.
- 15 40. Optisches Datenübertragungssystem gemäß einem der voran-
stehenden Ansprüche 26 bis 39, dadurch gekenn-
zeichnet, daß ein Mittel, vorzugsweise ein Mikropro-
zessor (22) mit einem entsprechenden Programm, vorgese-
hen ist, der aus den gemessenen Größen die Rauschzahl
eines Verstärkers (32) bestimmt.

Fig. 1

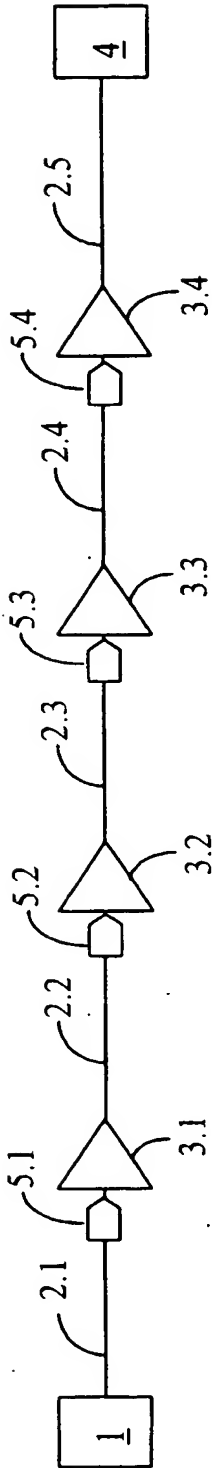
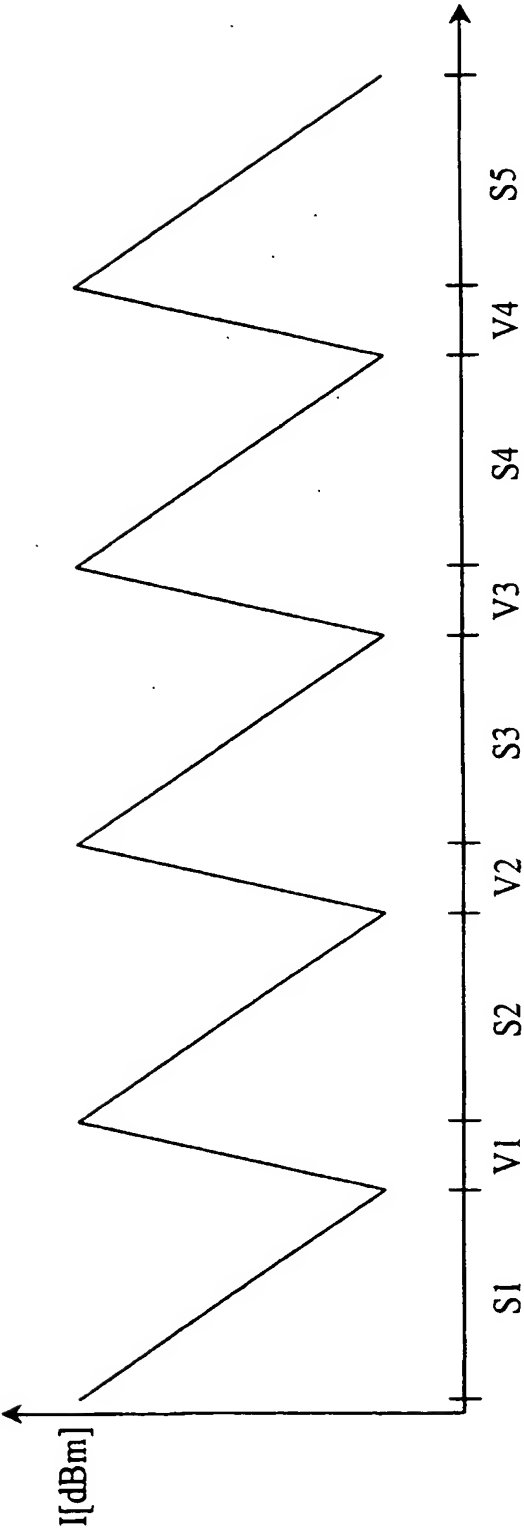


Fig. 2



1/4

Fig. 3

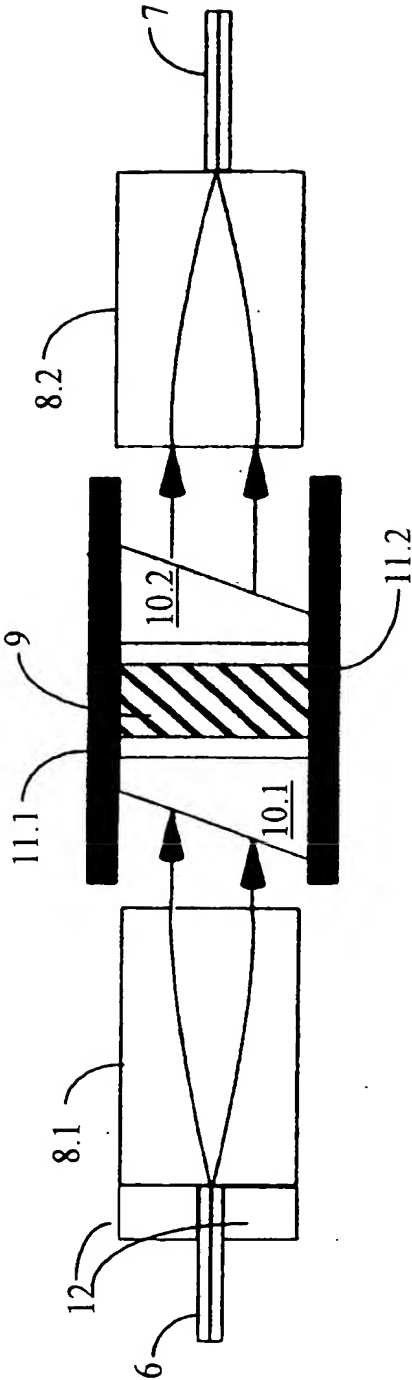
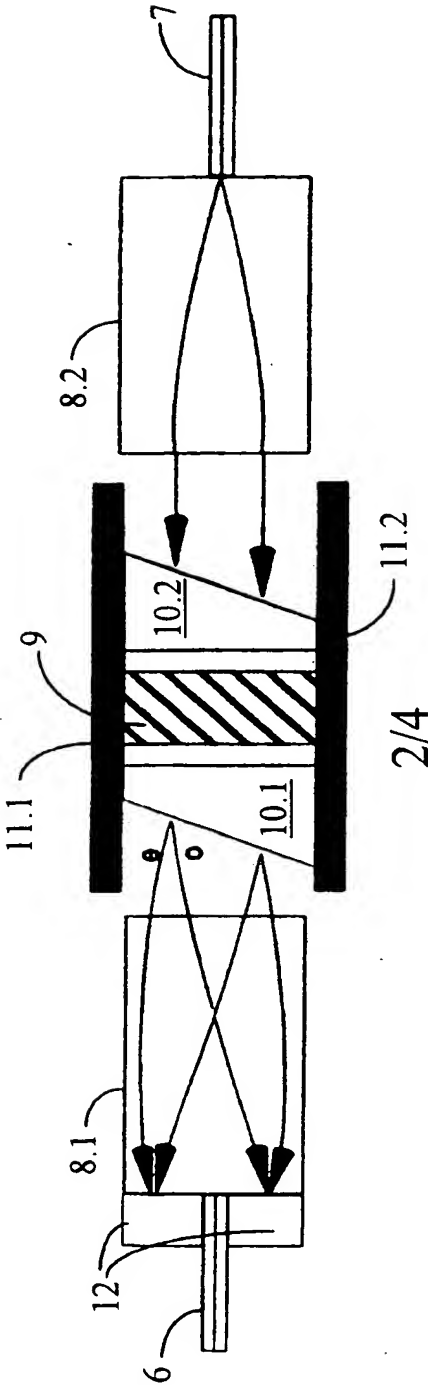


Fig. 4



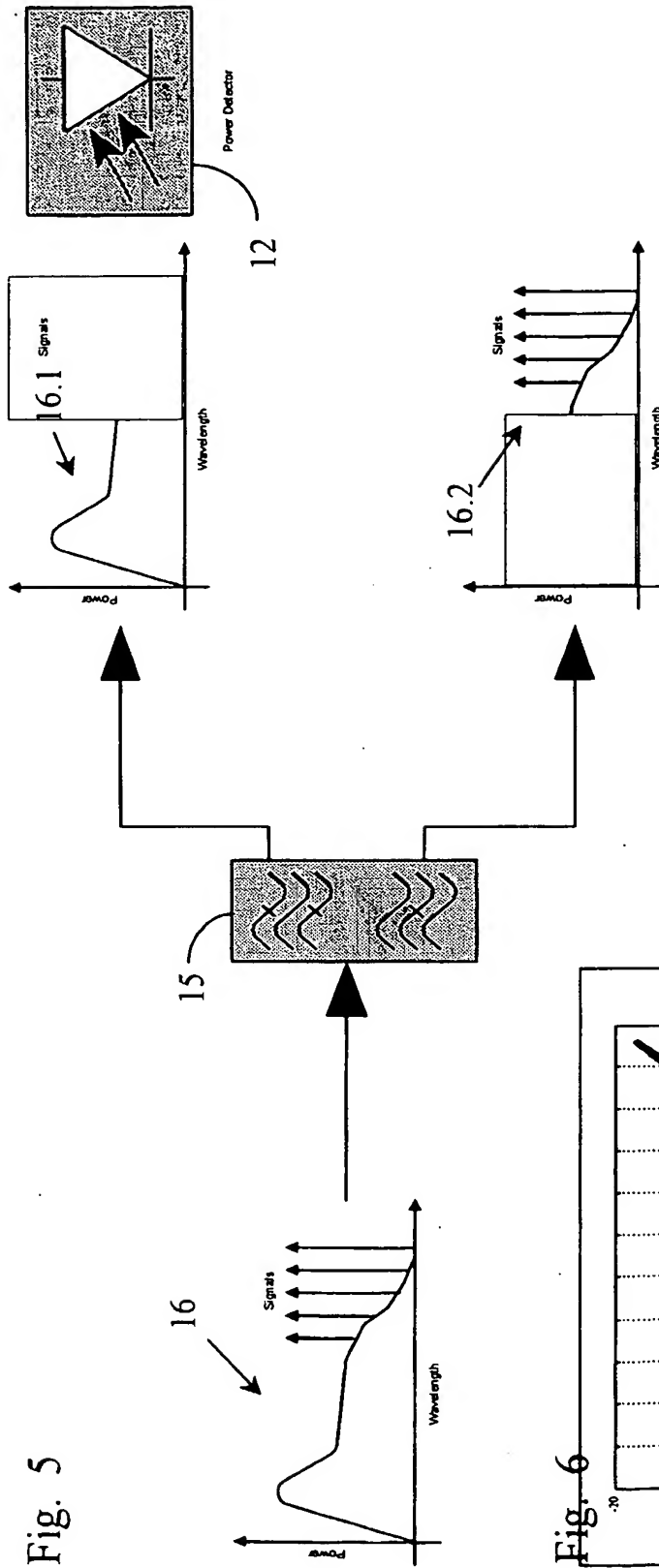
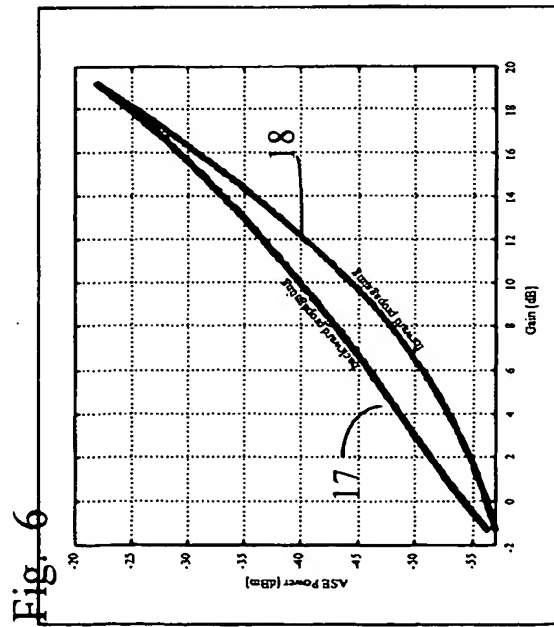
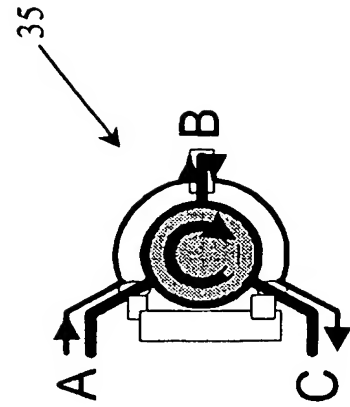
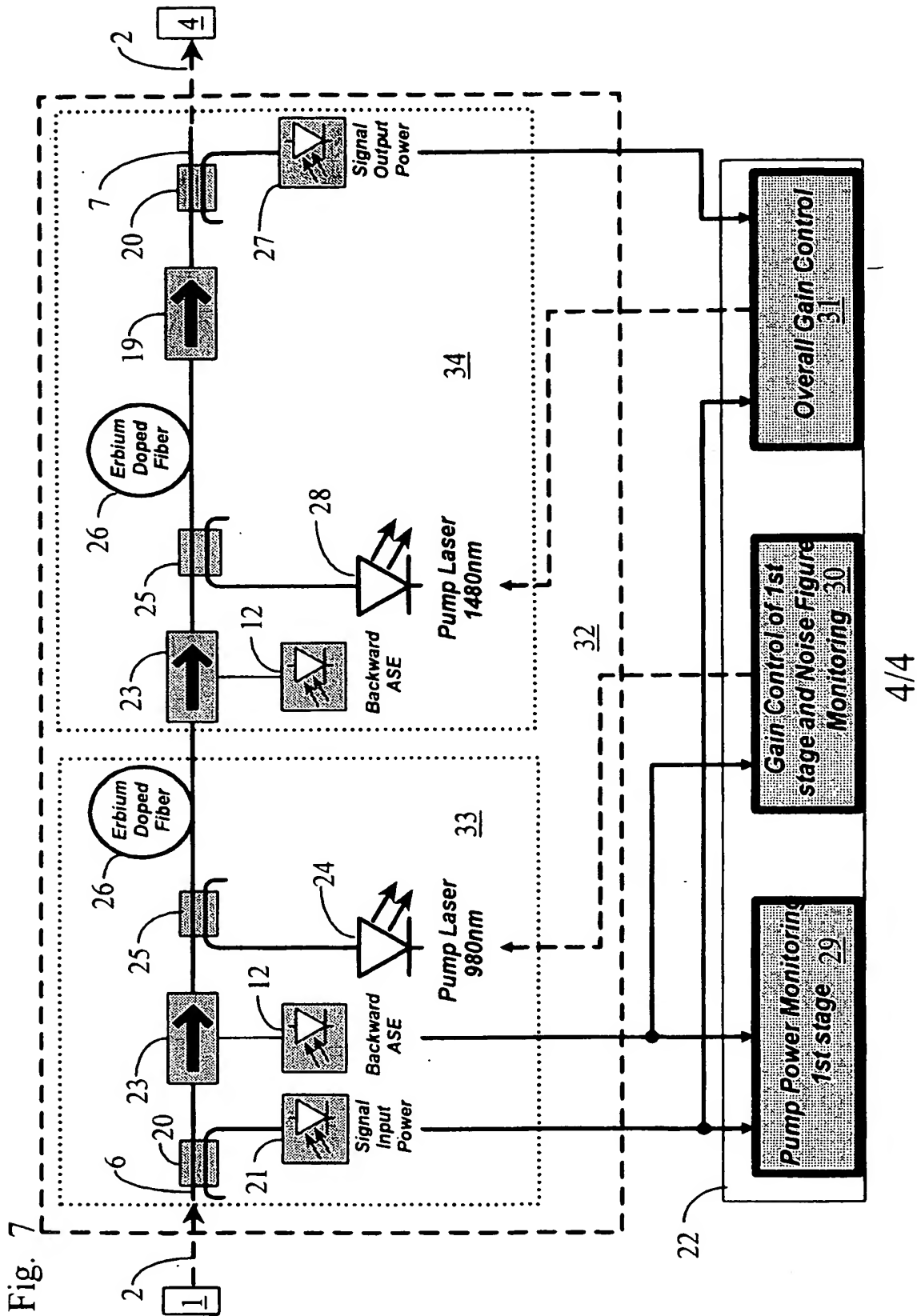


Fig. 4a





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 01/00094

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01S3/094 H01S3/131 H01S3/067 H01S5/0683 H01S5/50
H04B10/17 G02F1/09

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01S G02F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, PAJ, IBM-TDB, EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	BAYART D ET AL: "1.55 µm flouride-based EDFA with gain-flatness control for multiwavelength applications" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 30, no. 17, 18 August 1994 (1994-08-18), pages 1407-1409, XP006000927 ISSN: 0013-5194 the whole document	1-5, 9-11, 26-30, 34-36
X	US 5 995 275 A (SUGAYA YASUSHI) 30 November 1999 (1999-11-30) column 7, line 17 -column 8, line 40; figures 8,9 -/--	1-5, 7-10, 25-30, 32-35

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 July 2001

Date of mailing of the international search report

06/08/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Stang, I

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 01/00094

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 395 277 A (STC PLC) 31 October 1990 (1990-10-31)	1-5, 7-10, 25-30, 32-35
Y	the whole document	17-20, 36-40
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 359 (E-1574), 6 July 1994 (1994-07-06) -& JP 06 097554 A (NIPPON TELEGR & TELEPH CORP), 8 April 1994 (1994-04-08) abstract	1-6, 21, 24, 26-31
Y		22, 23
Y	DE 29 31 474 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 21 February 1980 (1980-02-21) page 9, line 14 -page 12, line 4 page 15, line 5 - line 21; figures 1,8	22, 23
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 13, 30 November 1998 (1998-11-30) -& JP 10 223963 A (NEC ENG LTD), 21 August 1998 (1998-08-21) abstract	17-20, 36-40
A	YOSHIAKI SATO ET AL: "NOISE FIGURE MONITORING OF OPTICAL AMPLIFIERS VIA BACKWARD AMPLIFIED SPONTANEOUS EMISSION" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, US, IEEE INC. NEW YORK, vol. 6, no. 2, 1 February 1994 (1994-02-01), pages 202-204, XP000439750 ISSN: 1041-1135 the whole document	1-6, 15, 16, 26-31, 40

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 01/00094

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5995275	A	30-11-1999	JP 9230400 A US 6038061 A	05-09-1997 14-03-2000
EP 0395277	A	31-10-1990	GB 2230912 A AU 618186 B AU 5371990 A DE 69015869 D DE 69015869 T JP 2788327 B JP 3062022 A US 5117196 A	31-10-1990 12-12-1991 25-10-1990 23-02-1995 04-05-1995 20-08-1998 18-03-1991 26-05-1992
JP 06097554	A	08-04-1994	NONE	
DE 2931474	A	21-02-1980	JP 55113020 A JP 1206764 C JP 55022729 A JP 58028561 B JP 1236433 C JP 55067723 A JP 59007364 B JP 55088018 A CA 1116906 A FR 2432723 A GB 2030316 A, B IT 1209904 B NL 7905972 A, B, US 4239329 A	01-09-1980 11-05-1984 18-02-1980 16-06-1983 17-10-1984 22-05-1980 17-02-1984 03-07-1980 26-01-1982 29-02-1980 02-04-1980 30-08-1989 06-02-1980 16-12-1980
JP 10223963	A	21-08-1998	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 01/00094

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 H01S3/094 H01S3/131 H01S3/067 H01S5/0683 H01S5/50
H04B10/17 G02F1/09

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H01S G02F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

WPI Data, PAJ, IBM-TDB, EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	BAYART D ET AL: "1.55 µm flouride-based EDFA with gain-flatness control for multiwavelength applications" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, Bd. 30, Nr. 17, 18. August 1994 (1994-08-18), Seiten 1407-1409, XP006000927 ISSN: 0013-5194 das ganze Dokument	1-5, 9-11, 26-30, 34-36
X	US 5 995 275 A (SUGAYA YASUSHI) 30. November 1999 (1999-11-30) Spalte 7, Zeile 17 -Spalte 8, Zeile 40; Abbildungen 8,9 --- -/--	1-5, 7-10, 25-30, 32-35

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. Juli 2001

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

06/08/2001

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Stang, I

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 395 277 A (STC PLC) 31. Oktober 1990 (1990-10-31)	1-5, 7-10, 25-30, 32-35
Y	das ganze Dokument	17-20, 36-40
X	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 359 (E-1574), 6. Juli 1994 (1994-07-06) -& JP 06 097554 A (NIPPON TELEGR & TELEPH CORP), 8. April 1994 (1994-04-08)	1-6, 21, 24, 26-31
Y	Zusammenfassung	22, 23
Y	--- DE 29 31 474 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 21. Februar 1980 (1980-02-21) Seite 9, Zeile 14 - Seite 12, Zeile 4 Seite 15, Zeile 5 - Zeile 21; Abbildungen 1, 8	22, 23
Y	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 13, 30. November 1998 (1998-11-30) -& JP 10 223963 A (NEC ENG LTD), 21. August 1998 (1998-08-21) Zusammenfassung	17-20, 36-40
A	--- YOSHIAKI SATO ET AL: "NOISE FIGURE MONITORING OF OPTICAL AMPLIFIERS VIA BACKWARD AMPLIFIED SPONTANEOUS EMISSION" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, US, IEEE INC. NEW YORK, Bd. 6, Nr. 2, 1. Februar 1994 (1994-02-01), Seiten 202-204, XP000439750 ISSN: 1041-1135 das ganze Dokument -----	1-6, 15, 16, 26-31, 40

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 01/00094

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5995275	A	30-11-1999	JP	9230400 A	05-09-1997
			US	6038061 A	14-03-2000
EP 0395277	A	31-10-1990	GB	2230912 A	31-10-1990
			AU	618186 B	12-12-1991
			AU	5371990 A	25-10-1990
			DE	69015869 D	23-02-1995
			DE	69015869 T	04-05-1995
			JP	2788327 B	20-08-1998
			JP	3062022 A	18-03-1991
			US	5117196 A	26-05-1992
JP 06097554	A	08-04-1994	KEINE		
DE 2931474	A	21-02-1980	JP	55113020 A	01-09-1980
			JP	1206764 C	11-05-1984
			JP	55022729 A	18-02-1980
			JP	58028561 B	16-06-1983
			JP	1236433 C	17-10-1984
			JP	55067723 A	22-05-1980
			JP	59007364 B	17-02-1984
			JP	55088018 A	03-07-1980
			CA	1116906 A	26-01-1982
			FR	2432723 A	29-02-1980
			GB	2030316 A, B	02-04-1980
			IT	1209904 B	30-08-1989
			NL	7905972 A, B,	06-02-1980
			US	4239329 A	16-12-1980
JP 10223963	A	21-08-1998	KEINE		